维普资讯 http://www.cqvip.com

第1卷 第4期　　交通运输系统工程与信息　　Vol. 1　No. 4
2001年11月 Journal of Communication and Transportation Systems Engineering and Information　Nov.　2001

文章编号：1009-6744（2001）04-0267-09

钱学森的现代科学技术体系与综合集成方法论

——祝贺钱学森院士九十华诞

于景元
（北京信息控制研究所，北京　100037）

摘要： 介绍了钱学森提出的现代科学技术体系和综合集成方法论．现代科学技术体系是由横向11个科学技术部门和纵向三个层次所构成的矩阵式结构；综合集成方法论是由“从定性到定量综合集成方法”和“从定性到定量综合集成研讨厅体系”所构成．文章还讨论了它们在实践中的应用．

关键词： 钱学森；现代科学技术体系；综合集成方法论
中图分类号： N941

Qian Xuesen's Contemporary System of Science and Technology and Meta-synthesis

YU Jing-yuan
(Beijing Institute of Information and Control, Beijing 100037, China)

Abstract: The paper introduces the contemporary system of science & technology and metasynthesis established by academician Qian Xuesen, The contemporary system of science and technology has a matrix structure which have eleven department of science and technology in its row and three hierarchies in its column. The meta-synthetic is a methodology and consist of meta-synthetic engineering and hall for workshop of meta-synthetic engineering. Here also discusses their applications in practice.

Keywords: Qian Xuesen; contemporary system of science & technology; meta-synthesis
CLC number: N941

2001年12月11日是钱学森同志90寿辰.

在钱老丰富多彩的科学生涯中，他的研究领域有应用力学、喷气推进与航天技术、工程控制论、物理力学、系统工程、系统科学、思维科学、人体科学、科学技术体系与马克思主义哲学等[1]．研究工作从工程技术到技术科学、基础科学直到哲学．这样广阔的研究空间，充分体现了他的理论和实践紧密结合、科学技术与马克思主义哲学紧密结合的研究特色．他所取得的成就和做出的贡献表明：“钱学森是一位杰出的科学家、思想家．他把科学理论和火热的改造客观世界的革命精神结合起来．一方面是精深的理论，一方面是火热的斗争，是‘冷’与‘热’的结合，是理论与实践的结合．这里没有胆小鬼的藏身处，也没有自私者的藏身地，这里需要的是真才实学和献身精神．”[2]钱学森的科学精神、科学思想和科学方法，是中华民族宝贵的精神财富，永远值得我们学习.

在钱老的科学历程中，有一个非常突出的显明特点，就是他的系统思维和系统思想，这是他取得各种成就的重要原因之一．20世纪70年代末以来，他花费了很大心血，把主要精力集中在系统工程的推广应用和系统科学理论的探索研究上．他的系统思想更有了新的发展，进入了新

基金项目：国家自然科学基金资助项目（79990580）
于景元：研究员

维普资讯 http://www.cqvip.com

的阶段,达到了新的高度.

本文想从以下 3 个方面来说明钱学森的系统思想、系统方法、系统理论和系统应用:① 建立现代科学技术体系结构,这是面向社会认识层面的,也就是理论方面的;② 建立社会主义建设体系结构,这是面向社会实践层面的应用研究;③ 提出"从定性到定量综合集成方法"和"从定性到定量综合集成研讨厅体系"构成的综合集成方法论,这是支持上述两个方向研究的科学方法论与方法.

1991 年 10 月,在国务院、中央军委授予他"国家杰出贡献科学家"称号仪式上,他说:"我认为今天科学技术不仅仅是自然科学工程技术,而是人类认识客观世界、改造客观世界整个的知识体系,而这个知识体系最高概括是马克思主义哲学. 我们完全可以建立起一个科学体系,而且运用这个体系去解决我们中国社会主义建设中的问题. "并说"我在今后的余生中就想促进一下这件事情. "[1]介绍以上 3 点内容也想说明钱老是如何实现这个心愿的.

1 现代科学技术体系结构

钱学森是一位自觉应用马克思主义哲学指导自己研究工作的科学家. 他在给一位朋友的信中说:"我近 30 年来一直在学习马克思主义哲学,并总是试图用马克思主义哲学指导我的工作. 马克思主义哲学是智慧的源泉!"[2]正是在马克思主义哲学指导下,他运用系统思想建立了现代科学技术体系结构.

现代科学技术的发展,已经取得了巨大成就. 今天人类正在探索从渺观、微观、宏观、宇观直到胀观 5 个层次时空范围的客观世界[3](图 1). 其中宏观层次上就是我们所在的地球,在地球上又诞生了生命、生物,出现了人类和人类社会. 所有这些研究已形成了众多科学领域和学科,而且新领域、新学科还在不断涌现,钱学森指出:"现代科学技术不单是研究一个个事物,一个个现象,而是研究这些事物、现象发展变化过程,研究这些事物相互之间的关系. 今天,现代科学技术已发展成为一个很严密的综合起来的体系,这是现代科学技术的一个很重要的特点. "[4]

从整体上来看,现代科学技术所研究的是整个客观世界. 客观世界包括自然和人工的,而人也是客观世界的一部分. 从不同角度、不同的观点和不同的方法研究客观世界不同问题时,现代科学技术又产生了各种不同的科学技术部门. 正是从系统思想出发,钱学森提出了现代科学技术的矩阵式结构[5](图 2). 从横向上看有 11 大科学技术部门,从纵向上看有 3 个层次的结构. 这 11 个科学技术部门是自然科学、社会科学、数学科学、系统科学、思维科学、行为科学、人体科学、军事科学、地理科学、建筑科学、文艺理论. 这是根据现代科学技术发展到目前水平所作的划分,今后随着科学技术的发展,还会产生新的科学技术部门,所以,这个体系是动态发展的系统.

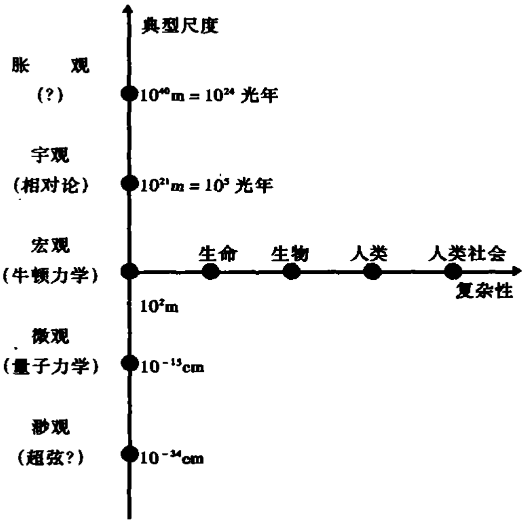

图 1 客观世界的时空范围

在每一个科学技术部门里都包含着认识世界和改造世界的知识. 科学是认识世界的学问,技术是改造世界的学问. 自然科学经过一百多年的发展,已形成了 3 个层次的知识,这就是:直接用来改造客观世界的应用技术(或工程技术);为应用技术直接提供理论基础和方法的技术科学,以及再往上 1 个层次,揭示客观世界规律的基础理论,也就是基础科学. 技术科学实际上是从基础理论到应用技术的过渡桥梁. 钱学森指出,这 3 个层次的知识结构,对其他科学技术部门同样是适用的,这是很重要的科学划分,很有启发性. 唯一例外是文艺,文艺只有理论层次,而实践层次上的文艺创作,就不是科学问题,而是属于艺术范畴了.

现代科学技术是不是包括了所有人类从实践中获得的知识呢? 实际上,人类从实践中所获得的知识远比现代科学技术体系所包含的科学

维普资讯 http://www.cqvip.com

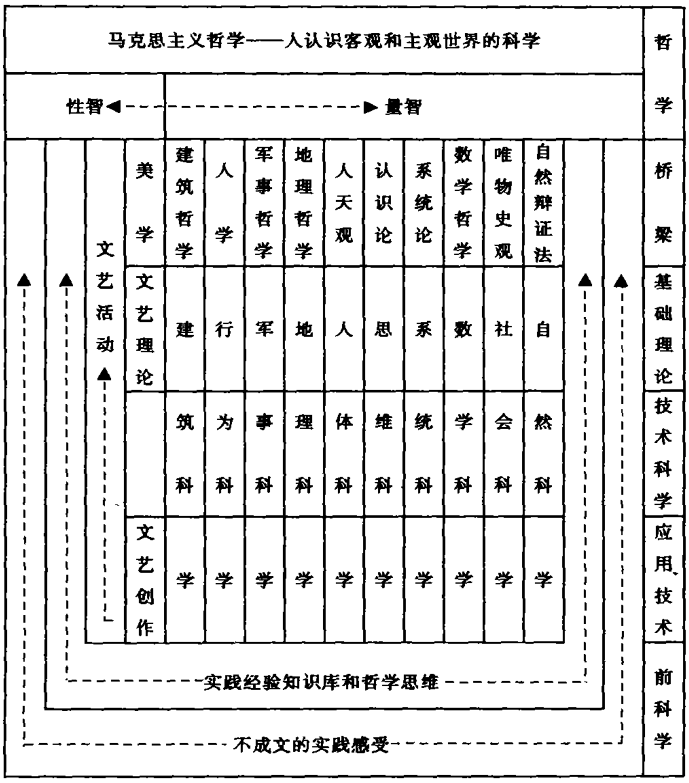

图 2　人类知识体系结构

知识丰富得多. 科学知识的特点是,不回答是什么,还能回答为什么. 但人类从实践中还获得了大量的感性知识和经验知识,这部分知识的特点是只知道是什么,还不能回答为什么,所以进人不了现代科学技术体系之中. 钱老把这部分知识称作前科学. 尽管如此,这部分知识对于我们来说仍然是很有用的,我们要十分珍惜. 前科学中的感性知识、经验知识,经过研究和提炼,可以概括成为科学知识,从而进入现代科学技术体系之中,这就发展和深化了科学技术本身. 同时,人类不断的社会实践,又会继续积累新的经验知识,丰富了前科学. 人类社会实践是永恒的,上述这个过程也就永远不会完结,这个过程的持续进行也就推动着科学技术不断地向前发展. 人类社会发展史也充分证明了这一点. 从这里可以看出,现代科学技术体系不仅是动态发展系统,而且也是一个开放的演化系统.

马克思主义哲学是人类对客观世界认识的最高概括,也是科学技术的最高概括,它不仅是知识、更是智慧. 辩证唯物主义反映了自然界、人类社会和人的思维发展的普遍规律. 因此,现代科学技术的发展,应该坚持马克思主义哲学的指导作用. 另一方面,现代科学技术的发展,也为马克思主义哲学进一步概括和发展提供了丰富的材料,这又推动着马克思主义哲学的发展. 基于马克思主义哲学与科学技术的这种互动关系,钱学森提出了上述 11 个科学技术部门通向马克思主义哲学的 11 座“桥梁”,它们都属于哲学范畴,分别概括了 11 个科学技术部门中各自带有普遍性、规律性的知识. 自然科学过渡到马克思主义哲学的桥梁是自然辨证法;社会科学的过渡桥梁是历史唯物主义;数学科学的桥梁是数学哲学;系统科学的桥梁是系统论;思维科学的桥梁是认识论;人体科学的桥梁是人天观;地理科学的桥梁是地理哲学;军事科学的桥梁是军事哲学;行为科学的桥梁是人学;建筑科学的桥梁是建筑哲学;文艺理论的桥梁是美学. 钱学森认为“把马克思主义哲学放在科学技术体系最高层次也说明了马克思哲学的实质;它决不是孤立于现代科学技术之外的,它是和现代科学技术紧密相连的. 也可以说,马克思主义哲学就是全部科学技术的科学,马克思主义哲学的对象就是全部科学技术. ”[4]这也是马克思主义哲学区别于其它哲学的一个根本特点,它是科学的哲学.

维普资讯 http://www.cqvip.com

综上所述，从前科学到科学再到哲学这样 3 个层次的知识，就构成了人类的整个知识体系.

辩证唯物主义告诉我们，客观世界是由无数相互联系、相互依赖、相互作用的事物与过程所形成的统一整体. 从这个观点来看，作为反映客观世界规律的各个科学技术部门之间也是相互联系、相互影响、相互作用的有机整体. 这个体系结构，反映出钱学森研究现代科学技术发展的系统观和整体观.

现代科学技术体系给予我们的重要启发，就是要充分发挥这个体系的综合优势和整体力量，特别是不同科学技术部门的相互结合，更能提高我们认识世界的水平和改造世界的能力. 邓小平同志指出，科学技术是生产力而且是第一生产力，从现代科学技术体系来看，这里的科学技术就不单是哪一个科学技术部门，而应该是整个现代科学技术体系. 如果把这里的科学技术只理解为自然科学技术的话，那至少是不全面的. 钱学森曾指出："研究社会科学的目的与研究自然科学和技术的目的没有什么不同，社会科学同样是提高人民物质生活和精神生活水平的工具，而且是不可缺少的工具，那么为什么不能说社会科学是生产力呢? 如果说科学技术是生产力，这里说的科学技术要包括社会科学. "[6]

我国正在实施科教兴国战略，依靠科技和教育来建设强大的社会主义国家. 这里"科"的内涵是什么?从上述对科学技术是第一生产力的理解，这个"科"也不能单纯理解成某一个科学技术部门，而应是现代科学技术体系. 如果把这个"科"只理解成自然科学技术，大家知道，前苏联的自然科学技术并不比美国差，有些方面甚至比美国还要强. 但结果不但没有兴国反而解体了. 这个事实启发我们，在高度重视自然科学技术的同时，更要重视现代科学技术的整体作用. 我们应该而且能够运用这个体系去解决我们中国社会主义建设中的问题.

2 社会主义建设的体系结构

钱学森在面向实践问题时，同样表现出他的系统思维和系统思想. 他用系统观点考察社会时，明确提出一个社会或国家是个开放的特殊复杂巨系统，即社会系统. 这样来认识社会是对社会实际的一种科学概括. 有了这样的概念就为应用系统科学和系统工程来研究和解决社会问题开辟了一条新的途径和方法.

钱学森根据社会形态的概念，从整体上研究社会主义建设的组织管理问题[7—9]，20 世纪 90 年代初提出了社会主义建设的系统结构. 社会形态这个概念是马克思首先提出来的，它是一定历史时期社会经济制度、政治制度和思想文化体系的总称，是一定历史阶段上，生产力和生产关系，经济基础和上层建筑的具体的、历史的统一. 把社会形态概念和社会系统结构结合起来，尽管社会系统很复杂，"但从宏观角度看，这样复杂的社会系统，其形态，即社会形态最基本的侧面有 3 个，这就是经济的社会形态、政治的社会形态和意识的社会形态"[10]. 社会形态 3 个侧面是相互联系、相互影响、相互作用的，从而构成一个社会的有机整体，形成了社会系统结构.

经济的社会形态是指经济制度，包括生产方式、经济体制等；政治的社会形态是指社会政治制度，包括国家政权性质、管理体制、法律制度等；意识的社会形态是指思想文化体系，包括伦理道德，以及哲学、科技、文学艺术、教育、宗教等. 经济的社会形态是基础，它决定了政治的社会形态和意识的社会形态. 意识的社会形态不仅受经济的社会形态的影响，还要受政治的社会形态的制约. 同时，意识的社会形态对政治的社会形态和经济的社会形态又有相对独立性和能动的反作用. 政治的社会形态对经济的社会形态有强大的反作用.

从社会进步和发展角度来看，社会形态的 3 个侧面都处在不断运动和变化之中，而飞跃式的变化，就是我们通常所说的革命. "经济的社会形态的飞跃就是产业革命，政治的社会形态飞跃是政治革命，意识的社会形态飞跃是文化革命. 社会形态的变化、飞跃就是社会革命，但社会革命可由不同侧面引起，而且具有不同性质，产业革命、政治革命和文化革命都是社会革命"[8]. 钱学森关于产业革命与技术革命、科学革命的关系，有过系统论述，他指出"科学革命是人类认识客观世界的飞跃，技术革命是人改造客观世界技术的飞跃，而科学革命、技术革命又会引起社会整个物质资料生产体系的变革，即产业革命. 在今天，科学革命在先，然后导致技术革命，最后出现产业革命"[5]. 这里所说的科学革命不仅有如牛顿力学、相对论、量子力学等自然科学的科学革命，也有马克思创立历史唯物主义和剩余价值

维普资讯 http://www.cqvip.com

理论的社会科学的科学革命，用系统观点和方法研究客观世界的系统科学的出现，也是科学革命……等等. 同样，技术革命除了历史上已经出现过的蒸汽机、电力、核能技术等技术革命外，特别是当前以计算机、网络和通信技术为核心的信息技术革命，将引起一场对人类社会影响更加深刻、更加广泛的产业革命. 此外，我们还要看到“系统工程在组织管理技术和方法上的革命作用，也属技术革命”[5].

相应于社会形态的 3 个侧面，从社会发展和文明建设来看，也有 3 种文明建设：这就是相应于经济的社会形态的经济建设，即物质文明建设；相应于政治的社会形态的政治建设，即政治文明建设；相应于意识的社会形态的思想文化建设，即精神文明建设. 结合我国实际情况，钱学森提出了我国社会主义建设的系统结构[11]：① 社会主义物质文明建设，包括科技经济建设、人民体质建设；② 社会主义政治文明建设（文件中通常称作民主与法制建设），包括民主建设、法制建设、政体建设；③ 社会主义精神文明建设，包括思想建设和文化建设，这就是我国社会主义文明建设的 3 个方面，但国家和社会发展，还要受到所处地理环境的影响，这也就是系统科学中的系统与其环境的关系，社会系统环境是地理系统，为使社会系统和地理系统协调发展，必须进行地理系统建设，即地理建设；④ 我国社会系统环境建设，就是社会主义地理建设，包括基础设施建设、环境保护和生态建设. 概括起来，我国社会主义现代化建设包括了上述社会主义 3 个文明建设和地理建设，共 4 大领域 9 个方面（图 3）. 在这 9 个方面中，科技经济建设是中心，这也附合邓小平同志提出的经济建设为中心和科学技术是第一生产力的思想. 由于社会形态 3 个侧面的相互关系，也就决定了社会主义 3 个文明建设之间也是相互联系、相互影响、相互作用的. 物质文明建设是基础，决定和制约着政治文明和精神文明建设，同时，精神文明和政治文明建设对物质文明建设又能产生巨大反作用，它既可以起推动作用，也可以起阻碍甚至破坏作用，它们是物质文明建设的精神动力，并决定着物质文明建设的方向和速度. 地理建设是为社会主义文明建设提供持续和稳定的物质基础和优良的环境条件，也就是当今人类共同关心的可持续发展问题.

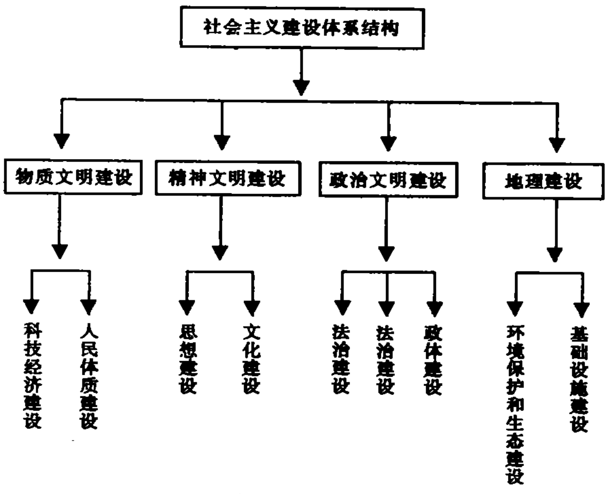

图 3　社会主义建设体系结构

从系统观点来看，系统组成部分以及与其环境之间只有相互协调，才能获得最好的整体功能. 从这个意义上说，社会主义 3 个文明建设以及它们和地理建设之间，必须协调发展形成良性循环，才能使我国社会主义建设的速度更快、效率更高、效益更大. 反之，如不协调，那么社会主义建设事业就会受到影响，甚至造成巨大损失. 在我国社会主义建设过程中，已有大量事实证明了这一点. 我国的改革开放，从根本上来说，就是改革那些影响 4 大领域或 9 个方面建设以及它们之间不能协调发展的体制机制和组织管理.

这样看来，实践向我们提出了一个十分重要的问题，就是如何才能使 4 大领域或 9 个方面建设协调发展. 这里既需要科学理论又需要实践技术. 当然，首先是马克思主义哲学的指导作用，马克思主义是指导我们思想的理论基础. 此外，还需要现代科学技术体系所提供的全部知识. 即使这样，我们还要处理和解决至今尚未认识的新问题. 我们要在马克思主义哲学指导下，综合运用现代科学技术体系全部科学知识以及有用的经验知识，去进行社会主义物质文明建设、精神文明建设、政治文明建设和地理建设，这就是科教兴国赋予我们的重大使命.

从实践角度来看，4 大领域或 9 个方面的建设，是变革和建设社会与自然并使它们之间协调发展的伟大实践，这是一项极为复杂的大规模工程，既然是工程，是改造世界，就不仅需要理论，还需要能操作的技术. 钱学森指出：“我们可以

维普资讯 http://www.cqvip.com

把完成上述组织管理社会主义建设的技术叫做社会工程，它是系统工程范围的技术，但范围和复杂程度是一般系统工程所没有的，这不只是大系统而是巨系统，是包括整个社会的系统."[7]这里所说的社会工程就是社会系统工程. 社会系统工程是组织管理社会系统，以使 4 大领域协调发展并取得长期和最好的整体效益的工程技术，这是一项复杂的社会技术.

为一般系统工程提供理论方法的有运筹学、控制论、信息论等. 但对社会系统工程来说. 这些理论方法就显得不够用了. 需要有新的方法和方法论. 这也是钱老 20 世纪 70 年末推广系统工程应用时，一直在探索和研究的问题. 直到 80 年代末，提出"从定性到定量综合集成方法"以及"从定性到定量综合集成研讨厅体系"，才使社会系统工程有了可靠的科学基础，也使系统工程的发展进入了复杂系统工程新阶段.

3 综合集成方法论及其意义

20 世纪 80 年代末到 90 年代初，钱学森先后提出"从定性到定量综合集成方法"以及它的进一步发展"从定性到定量综合集成研讨厅体系". 这是钱学森系统思维和系统思想在方法论上的体现.

现代科学技术的发展呈现出现高度分化又高度综合的两种明显趋势. 一方面是学科不断分化、越分越细，新学科、新领域不断产生；另一方面是不同学科、不同领域之间相互交叉、综合与融合，向着综合化和整体化的方向发展. 这两种趋势相辅相成，互相促进，丰富和发展着现代科学技术体系. 系统科学就是这后一发展趋势中的一个典型科学技术部门.

从实践角度来看，现代社会实践越来越复杂，综合性越来越强，通常不是一门学科甚至也不是一个科学技术部门的知识所能解决的，需要综合运用人类知识体系所提供的知识来指导实践. 我国改革开放和社会主义现代化建设这样伟大的社会实践，出现许多从未遇到过和认识的新问题，这样的实践就更为困难和复杂.

综上所述，无论是发展理论还是解决复杂实践问题，我们都面临着不同层次的知识(经验的、科学的以至哲学的)，不同领域不同学科的知识(自然科学、社会科学、数学科学……等等)，不同类型的知识(定性、定量的)，如何把这些知识、智慧综合集成起来，涌现出新知识和智慧，也就是如何综合运用人类知识体系这个宝贵的知识资源，以提高我们认识世界的水平和增强我们改造世界的能力，这就有个方法和方法论的问题.

方法(Method)和方法论(Methodology)是 2 个不同层次的问题. 方法论是关于研究事物所遵循的途径和路线，在方法论指导下是具体方法问题，而方法也不止一种，可能有多种方法. 如果方法论不对，具体方法再好，也解决不了根本问题. 从近代科学到现代科学，还原论方法发挥了重要作用，特别在自然科学领域取得了很大成功. 它所遵循的途径是把事物分解成局部或低层次事物来研究，以为低层次或局部问题弄清楚了，高层次或整体问题也就自然清楚了. 如果低层次或局部问题仍弄不清楚，还可以继续分解下去，直到把整个问题弄清楚了为止. "我们有采取这种还原论的最好理由：它有效. 自从西方科学的黎明以来它就是获得有用信息的关键，而且已经通过科学家及其它深深地植入我们的文化之中"[12]. 但是现代科学技术发展向这种方法论提出了挑战，许多事实使科学家们认识到"还原论的不足之处正日益明显"[12]. 我们正面临着这种方法论处理不了的问题. 圣菲研究所(Santa Fe Institute, SFI)的复杂性研究或复杂性科学，就是在这种背景下提出来的. 如图 1 所表明的，宏观层次以下探索的就是被格尔曼(Gell-mann)称作的简单性问题，这是物理学家、化学家们的世界. 在宏观层次上，就是他们所说的复杂性问题，特别到了人类社会这部分，不仅有自然属性，还有社会属性和精神属性，一个比一个复杂，高层次是由低层次演化过来的，但又具有低层次所没有的性质. SFI 把这种现象称作涌现(Emergence).

其实，意识到还原论方法不足的科学家，更早的是冯·伯塔朗菲(L. von Bertalanffy)，他本人是位理论生物学家，当生物学研究已深入到分子水平产生分子生物学时，用他本人的话来说，他对生物整体的认识反而模糊了. 这使他转到整体论和整体论方法，并提出一般系统论. 但限于当时的科学技术水平，他没能解决整体论的具体方法问题，还是定性描述和概念阐发居多，泛泛而论，解决不了问题.

SFI 研究复杂性问题时，以计算机为主的现代信息技术已有了巨大发展. 他们应用计算机

维普资讯 http://www.cqvip.com

技术研究复杂性问题，进行了许多开创性工作，并取得了一些进展，如遗传算法、进化算法，以 Agent 为基础的动态经济系统模型，用数字技术描述的人工生命系统，Swarm 平台，基于规则的计算机建模，这些对复杂系统的描述，比起数学模型更广泛和逼真．在数学建模、计算机建模以及把两者结合起来的系统建模上，SFI 的研究工作确实有了新的进展，值得我们重视．

但是，1995 年《科学美国人》杂志上有 1 篇文章“复杂性研究的发展趋势——从复杂性到困惑”[13]．作者霍根(J. Horgan)对 SFI 工作进行了综述和评价．似乎复杂性研究陷入了困境，不知如何进行下去．这究竟是什么原因，值得我们思考．

既然还原论方法处理不了复杂性问题，那么研究复杂性问题的方法论到底是什么？SFI 主要依靠计算机技术，那么仅靠计算机技术是否就能解决复杂性问题？这就涉及到今天的计算机能做什么，不能做什么．从思维科学的角度来看，人脑和计算机都能有效处理信息，但两者有极大差别．从信息处理角度来看，人脑思维一种是逻辑思维，它是定量、微观处理信息方式；另一种是形象思维，它是定性、宏观处理信息方式，而人的创造性主要来自创造思维，创造思维是逻辑思维和形象思维的结合，也就是定性和定量相结合、宏观与微观相结合，这是人脑创造性的源泉．今天的计算机在逻辑思维方面，确实能做很多事情，甚至比人脑做得还好，善于信息的精确处理，这已有很多科学成就证明了这一点，如著名数学家吴文俊先生的定理机器证明．但在形象思维方面，今天的计算机还不能给我们以任何帮助，至于创造思维只能依靠人脑了．从这个角度来看，期望完全靠机器来解决复杂性问题，至少目前是行不通的，完全依靠机器能解决的问题，肯定不是复杂性问题．从这里可以看出，SFI 困惑是在方法论上，而不是在具体方法上，在具体方法上，他们还有很多创新．

钱学森是一位高度重视科学方法和方法论研究的科学家．他在马克思主义实践论和认识论指导下，从实际出发，运用系统科学思想进行方法论研究．20 世纪 70 年代末，在把系统工程推广应用到更复杂的系统中时，他就意识到必须发展系统工程方法．20 世纪 80 年代初，他曾提出，处理复杂行为系统的定量方法学，是科学理论、经验和专家判断力的结合．这种定量方法学是半经验半理论的．从这里可以看出，钱学森研究复杂性问题，一开始就是和系统紧密结合的，而且更多的是从方法论层次来考虑和解决问题，这和 SFI 更多的从方法层次研究复杂性问题，具有很大的不同．

后来在他指导下的“系统学讨论班”上，又继续方法论的探索，一方面关注面向实际研究工作的进展，如在社会系统、地理系统、军事系统中的研究，同时在理论上进行提炼和概括．到了 20 世纪 80 年代末，钱学森提出了开放的复杂巨系统概念以及研究这类系统的方法论[14]，这就是“从定性到定量综合集成方法”以及它的进一步发展“从定性到定量综合集成研讨厅体系”．生物体系统、人体系统、人脑系统、地理系统、社会系统、星系系统等都是开放的复杂巨系统，分布在图 1 中宏观层次以及宏观层次以上的范围．钱学森明确指出：“凡现在不能用还原论方法处理的或不宜用还原论方法处理的问题，而要用或宜用新的科学方法处理的问题，都是复杂性问题，复杂巨系统就是这类问题”．[15]并进一步指出，SFI 的复杂性研究实际上是复杂巨系统的动力学问题．这就非常明确地指明了复杂性或复杂性科学与系统科学的关系．

任何一项研究工作，通常是科学理论、经验知识和专家判断力（专家的知识、智慧和创造力）相结合，形成和提出经验性假设（如判断、猜想、方案、思路等）．在自然科学和数学科学中，这类经验性假设一般是用严密逻辑推理和各种实验手段来证明其正确与否，这一过程体现了从定性到定量的特点．但它所用到的各种方法来处理复杂巨系统问题时，就显得力所不及了，如社会系统、地理系统中的问题．而我们又不能对经验性假设只停留在思辩和定性描述上．那么出路在哪里呢？现代计算机技术以及基于计算机的信息技术的发展，为我们开辟了新的途径，这就是人、机结合，人、网结合的方式，机器能做的尽量由机器去完成，极大扩展人脑逻辑思维处理信息的能力，也包括各种数学方法的应用．通过人、机结合以人为主，实现信息与知识的综合集成，这里包括了不同领域的科学知识和经验知识，定性知识和定量知识，理性知识和感性知识，通过人、机交互、反复对比、逐次逼近，实现从定性到定量的认识，从而对经验性假设的正确与否做出

维普资讯 http://www.cqvip.com

明确结论，这个结论已不再是经验性的了，而是现阶段对客观事物认识的科学结论.

这个方法体现了“精密科学”从定性判断到精密论证的特点；从思维科学角度来看，也体现了以形象思维为主的经验判断到以逻辑思维为主的精密论证过程.

这个方法的实质是把专家体系、数据和信息体系以及计算机体系有机结合起来，构成一个高度智能化的人、机结合系统，这个系统本身也是个开放的复杂巨系统. 这个方法的成功应用，就在于发挥这个系统的综合优势、整体优势和智能优势，它比单纯靠人(专家体系)或机器都有更强的优势. 它能把人的思维、思维的成果、人的经验、知识、智慧以及各种情况、资料和信息统统集成起来，从多方面定性认识上升到定量认识，所以这个方法是走精密科学之路的方法论.

在应用这个方法时，也需要系统分解，在分解后研究的基础上，再综合集成到整体，实现1+1>2的涌现，达到从整体上研究和解决问题的目的. 综合集成方法吸收了还原论方法和整体论方法的长处，同时也弥补了各自的局限性，它是还原论方法和整体论方法的结合，既超越了还原论，又发展了整体论. 还原论方法是自上而下，综合集成方法论既自上而下又自下而上，而整体论既不下也不上. 形象地说，可表示为：

整体论方法：1+0=1

还原论方法：1+1≤2

综合集成方法：1+1>2

概括起来说，综合集成方法作为科学方法论，其理论基础是思维科学，方法基础是系统科学与数学，技术基础是以计算机为主的信息技术，哲学基础是马克思主义实践论和认识论[16].

人类已进入信息时代，在信息社会中，信息是人类一切活动的基础. 但是有了信息未必就有知识，而有了知识也未必就有智慧，信息、知识、智慧这是 3 个不同层次上的问题，信息的综合集成可以获得知识. 信息和知识的综合集成可以获得智慧. 如果说过去人们获得知识和智慧主要是靠人脑来完成的话，那么今天，可以通过人、机结合，人、网结合的方式来进行(图 4).

综合集成方法论的实践形式，如图 4 所示，它由 3 个部分构成：以计算机为核心的各种信息技术的集成与融合所构成的机器体系，以及专家体系和知识体系. 专家体系和机器体系是知识体系的载体. 这 3 个部分的有机结合构成了高度智能化的人、机结合，人、网结合体系，它不仅具有信息、知识的采集、存储、传递、调用、分析与综合集成的功能，更重要的是具有产生新知识的功能 ，是知识的生产系统，既可用来研究理论问题，也可用来解决实践问题. 不管哪种应用，它都是从整体上研究和解决问题的方法. 按照我国传统说法，把 1 个复杂事物的各个方面综合起来，达到对整体的认识，称之为集大成，集大成得智慧，所以钱老形象地把这套方法称之为“大成智慧工程”(Meta Synthetic Engineering)[15]，把运用这个方法的集体称为总体设计部.

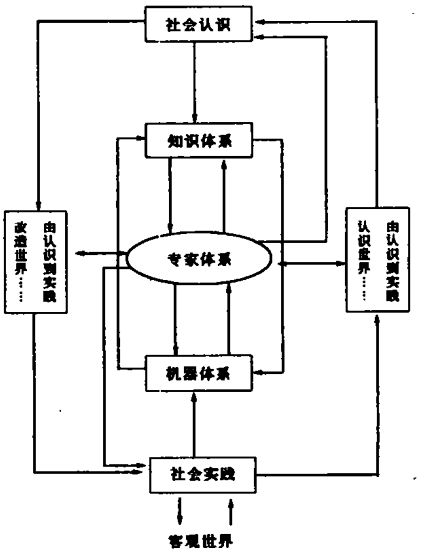

图 4　从定性到定量综合集成研讨厅体系

通过上述 3 个方面的讨论可以看出，在人类知识体系中，对不同科学技术部门的知识，从前科学、科学直到哲学 3 个层次的知识，通过综合集成方法可以获得新知识和智慧，既丰富了人类知识体系，又增强了人类改造客观世界的能力. 特别是对于社会系统工程，它提供了有效的科学方法. 这套方法也可用于复杂性研究，与 SFI 相比，他们只是在方法上有创新，但在方法论上并没有创新，这也正是他们困惑的原因所在. 而钱老的综合集成方法论是方法论上的创新，这也是钱老从 SFI 科学家们的高明之处.

钱学森是国内外著名的科学家，他的科学经历和取得的成就表明，他的知识和研究工作，不仅有深度，而且还有广度. 钱老的博学多才是大家都知道的. 而他对科学技术的远见卓识还表明，

维普资讯 http://www.cqvip.com

不仅有深度、广度，还有高度，而这个高度不仅仅是科学知识问题，更是智慧层次上的问题. 形象地说，如果仅有深度或仅有广度看作一维，既有深度又有广度看作二维，有深度、有广度还有高度看作三维的话，那么，钱学森是一位三维科学家，这就是我们通常所说的科学帅才或科学大师.

在祝贺钱老九十寿辰的时候，对于我们来说最有效的方式，就是学习他那种勤奋治学精神，严谨治学态度和求实治学学风，把他开创的科学事业继承下来并发扬光大.

参考文献

[1] 钱学森. 感谢、怀念和心愿[N]. 人民日报，1991-10-16 (1,3).

[2] 王寿云，等. 中国现代科学家传记·钱学森[M]. 北京：科学出版社，1991，767—802.

[3] 钱学森. 基础科学研究应该接受马克思主义哲学的指导[J]. 哲学研究，1989，(10)：3—8.

[4] 钱学森. 现代科学技术的特点和体系结构[A]. 见：论系统工程(增订本)[M]. 长沙：湖南科学技术出版社，1988，513—531.

[5] 钱学森. 我们要用现代科学技术建设有中国特色的社会主义[A]. 九十年代科技发展与中国现代化系列讲座[C]. 长沙：湖南科学技术出版社，1991，5—25.

[6] 钱学森. 从社会科学到社会技术[A]. 见：论系统工程(增订本)[M]. 长沙：湖南科学技术出版社，1988，158—172.

[7] 钱学森，乌家培. 组织管理社会主义建设的技术——社会工程[A]. 见：论系统工程(增订本)[M]. 长沙：湖南科学技术出版社，1988，28—39.

[8] 钱学森. 新技术革命与系统工程——从系统科学看我国今后 60 年的社会革命[A]. 见：论系统工程(增订本)[M]. 长沙：湖南科学技术出版社，1988，411—432.

[9] 钱学森. 研究社会主义建设的大战略，创建社会主义现代化建设的科学[A]. 见：论系统工程(增订本)[M]. 长沙：湖南科学技术出版社，1988，471—512.

[10] 钱学森. 社会主义文明的协调发展需要社会主义政治文明建设[A]. 中共中央党校报告选[C]. 北京，1989，1—11.

[11] 钱学森，涂元季. 我国社会主义建设的系统结构[J]. 人民论坛月刊，1992，(6)：14—15；杭州：浙江教育出版社，1994.

[12] Gallagher R, Appenzeller T. 超越还原论[A]. 见：戴汝为主编. 复杂性研究论文集[C]. 北京，1999.

[13] Horgan J. 复杂性研究的发展趋势——从复杂性到困惑[J]. 科学美国人，1995，(10)：42—47.

[14] 钱学森，于景元，戴汝为. 一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论[J]. 自然杂志，1990，13(1)：3—10.

[15] 王寿云，于景元，戴汝为，等. 开放的复杂巨系统[M]. 杭州：浙江科学技术出版社，1996.

[16] 于景元. 一个正在发展中的新领域——开放的复杂巨系统[J]. 控制理论与应用，1999，16：37—43.

（原载 2001 年第 11 期《中国工程科学》）